This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

QE
509
P4

Preis eines jeden Heftes im Jahresabonnement 50 Pfennig.

Sammlung
gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge,

begründet von
Rud. Virchow und Fr. von Holtzendorff,
herausgegeben von
Rud. Virchow und Wilh. Wattenbach.

Neue Folge. Fünfte Serie.
(Heft 97—120 umfassend.)

Heft 118.

Der Zustand im Erdinnern.

Von

Dr. Johannes Petersen
in Hamburg.

UC-NRLF
$B 292 815

Hamburg.
Verlagsanstalt und Druckerei A.-G. (vormals J. F. Richter).
1891.

YB 27321

☞ Es wird gebeten, die anderen Seiten des Umschlages zu beachten. ☜

IN MEMORIAM
Albin Putzker

UNIV. OF
CALIFORNIA

Der

Zustand des Erdinnern.

Von

Dr. Johannes Petersen
in Hamburg.

Hamburg.
Verlagsanstalt und Druckerei A.-G. (vormals J. F. Richter).
1891.

UNIV. OF CALIFORNIA

Das Recht der Ueberſetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Gift of Albin Polzyken

Druck der Verlagsanſtalt und Druckerei Actien-Geſellſchaft
(vormals J. F. Richter) in Hamburg.

Je größer die Bedeutung der Hypotheſe als eines Hülfsmittels der wiſſenſchaftlichen Forſchung iſt, um ſo mehr muß man ſich hüten, dieſelbe für mehr zu halten, als ſie iſt. Die Verkennung ihres Charakters als einer Hypotheſe und die Verwechſelung mit Thatſachen, wie ſie gelegentlich vorkommt, birgt ſtets eine ernſte Gefahr für den Fortſchritt der Wiſſenſchaft in ſich.

Wir finden faſt immer, wenn ein neuer, großer Gedanke zuerſt in Form einer Hypotheſe auftrat, einen lebhaften Aufſchwung der betreffenden Wiſſenſchaft. Zahlreiche Forſcher werden neu angeregt, Jeder nimmt zu der betreffenden Meinung perſönlich Stellung, der Kampf gegen dieſelbe und die Aufſuchung von Stützen für dieſelbe können ſtets nur der Wiſſenſchaft förderlich ſein. Man kann ſagen, daß eine geiſtreiche Hypotheſe auf eine Wiſſenſchaft einwirkt, wie ein erfriſchender Regen auf ein verödetes Ackerfeld. An Stelle des vorher ſpärlich und kümmerlich auftretenden Pflanzenwuchſes tritt plötzliches Gedeihen, neues Ergrünen und Blühen.

Und dieſen Einfluß bemerken wir bei einer Hypotheſe oft auch dann, wenn dieſelbe ſpäter als falſch bei Seite geſchoben wird.

Ein Blick auf die Geſchichte der Naturwiſſenſchaften beſtätigt das Geſagte.

Auf dem Gebiet der Zoologie wurde Cuvier einer der einflußreichsten Gelehrten, indem er zwei neue Prinzipien aufstellte: Das der Korrelation der Organe, nach welchem jeder Organismus ein einiges geschlossenes Ganzes bildet, in welchem einzelne Theile nicht abändern können, ohne in allen übrigen Theilen Aenderungen erscheinen zu lassen —, sowie das andere Prinzip der „Baupläne, nach denen die zugehörigen Thiere modellirt zu sein scheinen, und deren einzelne Unterabtheilungen nur leichte, auf die Entwickelung oder das Hinzutreten eines Theils gegründete Modifikationen sind, in denen aber an der Wesenheit des Planes nichts geändert ist".

Diese beiden Prinzipien gaben Anregung zu einer großen Zahl von vergleichend-anatomischen Arbeiten, indem eine große Menge von Forschern die Richtigkeit der Prinzipien im einzelnen nachzuweisen versuchte.

Andererseits wandte sich Geoffroy Saint-Hilaire gegen Cuvier, indem er im Gegensatz zu den verschiedenen scharf getrennten Typen die Ansicht aussprach, alle Thiere seien nach einem einheitlichen Plane gebaut. Er wurde so der Vorgänger des in Bezug auf die von ihm ausgehende Anregung und Förderung unerreicht dastehenden Charles Darwin.

Also obgleich von Grund aus verschieden, förderten doch die beiden genannten Hypothesen die Zoologie in ganz hervorragender Weise.

In der Mineralogie und Geologie wird der Name Werner stets als einer der Ersten genannt werden, wenn auch seine Ansichten über die Bildung der Gesteine heute überwunden sind, weil gerade seine Ideen zu einer Emsigkeit des Studiums anregten, daß von ihm an eine ganz neue Epoche der Wissenschaft gerechnet werden kann. Und wenn Humboldt und L. v. Buch Werner heftig bekämpften, indem sie seinen Hypothesen der Gebirgsbildung entgegengesetzte, heute ebensowenig anerkannte

Meinungen gegenüberstellten, so müssen auch sie mit zu den Vätern der Geologie gerechnet werden, da gerade der Kampf zwischen den Schülern Werners, den Neptunisten, und den Anhängern v. Buchs, den Plutonisten, Veranlassung zu einer großen Zahl von heut noch gültigen Beobachtungen wurde und den Grund zu den jetzt noch geltenden Theorien legte.

Es ist unnöthig, noch mehr Fälle aufzuzählen, wo Hypothesen, auch wenn sie falsch waren, befruchtend eingewirkt haben. Auf Schritt und Tritt begegnen wir den Beweisen für die aufgestellte Behauptung, wenn wir die Geschichte der Naturwissenschaften durchblättern.

Andererseits ist nicht zu verkennen, daß eine Gefahr für den wahren Fortschritt unserer Naturerkenntniß darin liegt, wenn Hypothesen infolge der Auffindung zahlreicher damit in Einklang stehender Thatsachen oder auch nur gewissermaßen durch den täglichen Umgang mit denselben allmählich im Bewußtsein des Forschers aufhören, Hypothesen zu sein. Das Operiren mit solchen Hypothesen wie mit Thatsachen, ihre Verwendung zur Begründung neuer Hypothesen kann die Wissenschaft ebenso sehr zurückbringen, wie sie sie anfangs förderte. Da führen die Versuche, alle Erscheinungen mit der als Thatsache angesehenen Hypothese in Einklang zu setzen, oft zu den abenteuerlichsten Behauptungen und wunderlichsten Vorstellungen. Jede Hypothese soll nur das sein und sein wollen, was sie ist, ein Erklärungsversuch für eine Reihe von Erscheinungen, die Zusammenfassung mehrerer Einzelthatsachen unter eine gemeinsame, nicht unmittelbar beobachtete oder beobachtbare Ursache. Läßt sich eine neu gefundene Thatsache der früher gebildeten Hypothese nicht unterordnen, so ist es Sache des gewissenhaften Arbeiters auf wissenschaftlichem Gebiet, nicht die Beobachtung von der Hypothese aus zu kritisiren, wie es gelegentlich geschieht, sondern von der beobachteten Thatsache aus die Hypothese zu prüfen

und, falls dieselben sich nicht in Einklang bringen lassen, zu versuchen, eine bessere, neue Hypothese an Stelle der alten zu setzen.

Ganz besondere Vorsicht ist bei der Verwendung von Hypothesen zur Begründung anderer zu beobachten. Nicht selten wird dadurch ein Zirkelschluß herbeigeführt. Um ein Beispiel hierfür anzuführen, wird in der Darwin-Dana'schen Theorie der Korallenbauten zu Erklärung derselben angenommen, daß der Meeresboden an den Orten, wo sich solche Bauten finden, sich in Senkung befinde, oder genauer, eine positive Verschiebung der Strandlinie stattfinde. Andererseits wird oft das Vorhandensein von Korallenbauten als Beweis für die Senkung eines Gebietes angeführt. Der Schluß ist unrichtig: das, was im letzten Satz als bewiesen gilt, war für den ersten Satz Voraussetzung, Annahme. Wie gefährlich ein solcher Fehlschluß sein kann, zeigt der Hinweis auf die neuerdings von Semper und Murray aufgestellte Theorie, welche gerade negative Verschiebung der Strandlinie als Bedingung für das Vorhandensein von Korallenbauten in manchen Gegenden voraussetzt, und nach welcher man mit demselben Rechte folgern könnte, daß z. B. die Gegend der Pelew-Inseln ein Gebiet von Hebungen des Meeresgrundes sei. Es ist hier nicht der Ort, zu entscheiden, welche der beiden Theorien die größere Wahrscheinlichkeit hat, nur darauf sei hingewiesen, daß aus dem Vorkommen von Korallenbauten allein auf positive oder negative Verschiebung der Strandlinie kein Schluß gestattet ist, so lange nicht eine der beiden Hypothesen durch den unmittelbaren Nachweis der Hebung oder Senkung als die alleingültige nachgewiesen ist.

Der Zweck des vorliegenden Vortrages ist der Nachweis, daß die von vielen Forschern vertheidigte, von zahlreichen Gebildeten angenommene Meinung, das Innere der Erde sei flüssig, eine Hypothese ist, gegen welche sich schwerwiegende

Einwände geltend machen lassen, daß die Erscheinungen, auf welche die Hypothese sich gründet, auch mit der Annahme, die Erde sei fest, vereinbar sind, — daß sogar, nach dem heutigen Stande der Wissenschaft, manche Erscheinungen mit der Annahme des flüssigen Erdkerns unvereinbar sind.[1]

Eine Entscheidung, ob der Erdkern flüssig oder fest ist, die Deutung aller einschlägigen Erscheinungen und ihre Erklärung durch eine der beiden Möglichkeiten, dürfte zur Zeit noch nicht möglich sein. Man kann bis jetzt nur mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit ein Urtheil abgeben.

Wollte man aber darum die Frage nach dem Zustand des Erdinnern überhaupt für eine müßige erklären, so ginge man zu weit. Auch die Spekulation hat ihre Berechtigung in der Naturwissenschaft, sobald die Beobachtung versagt. Nur dürfen die beobachteten und die erschlossenen Thatsachen nicht gleichwerthig nebeneinander gestellt, beziehungsweise verwechselt werden.

Das, was wir vom Zustande des Erdinnern thatsächlich wissen, ist recht wenig. Ist es doch bis jetzt nur gelungen, bis zu ganz außerordentlich geringen Tiefen in das Innere der Erde vorzudringen. Die tiefsten Bergwerke erstrecken sich nur wenig über 1000 Meter in die Tiefe; in Bohrlöchern hat man in dem bis jetzt tiefsten, bei Schladebach, 1748 Meter erreicht, das von Lieth bei Elmshorn war mit 1330 Meter mehrere Jahre hindurch das tiefste, das bei Sperenberg, berühmt wegen der in demselben angestellten Temperaturbeobachtungen, geht 1293 Meter tief. Nehmen wir hinzu, daß die Bohrlöcher meist nur eine oder wenige Formationen durchteufen, — so hat das von Lieth einen rothen Sandstein nicht durchsunken, das von Sperenberg ist innerhalb des Steinsalzes beendet worden, so mögen diese wenigen Angaben genügen, um zu zeigen, daß die inneren Theile der Erde der Beobachtung fast gar nicht zu-

gänglich gewesen sind. Die angegebenen Tiefen spielen im Verhältniß zum Durchmesser der Erde gar keine Rolle. Das Sperenberger Bohrloch (mit 1293 Meter) nimmt nur ungefähr den zehntausendsten Theil des Erddurchmessers (mit 12712 Kilometer) ein, ist also so unbedeutend, daß es sich auf einem Globus von gewöhnlichen Größenverhältnissen gar nicht zur Darstellung bringen ließe.

Daher darf es uns nicht wundern, daß die Frage nach der Substanz des Erdinnern durch den Bohrer ihrer Lösung nicht näher geführt wurde. Dieselben Schichten, dieselben Gesteine, welche von der Oberfläche her bekannt sind, hat er auch in den Tiefen angetroffen. Wir sind daher bezüglich der Stoffe, die den Erdkern bilden, lediglich auf Vermuthungen beschränkt, und müssen, wollen wir überhaupt der Frage näher treten, von einer Hypothese, der Kant-Laplaceschen Theorie von der Entstehung der Planetensysteme, ausgehen. Nehmen wir derselben entsprechend an, daß die Erde sich aus einem anfangs gasförmigen, dann glühend flüssigen, rotirenden Körper entwickelt habe, so können wir, den Gesetzen der Mechanik entsprechend, behaupten, daß sich die Stoffe im großen und ganzen nach ihrem spezifischen Gewicht geordnet haben, indem die schwereren dem Zentrum des rotirenden Körpers zustrebten, die leichteren die peripherischen Theile einnahmen. Diese Reihenfolge wird durch die Beobachtung in den uns zugänglichen Theilen der Erdrinde bestätigt. Die leichtesten Substanzen umgeben als Lufthülle den festen Erdkörper, darauf folgt die Wassermasse mit dem specifischen Gewicht von ungefähr 1, dann die festen Gesteine. Auch diese sind, von einigen Unregelmäßigkeiten abgesehen, (so müssen die hochgradig veränderten echten Sedimentärgesteine außer Acht bleiben) oberflächlich im allgemeinen leichter, als in der Tiefe. Es ist ziemlich sicher erwiesen, daß die sogenannten sauren Eruptivgesteine, wie z. B. die Granite und ähnlichen Gesteine,

welche ein spezifisches Gewicht von 2,6—2,8 haben, geringeren Tiefen entstammen, als die basischen, basaltartigen Gesteine mit dem Gewicht von etwa 3. Untersuchungen des spezifischen Gewichts des Gesamtkörpers der Erde nach den verschiedensten Methoden haben — von kleinen Abweichungen abgesehen — das übereinstimmende Resultat 5,6 ergeben. Da nun die gesamte uns bekannte Hülle der Erde leichter als 5,6 ist, muß die Hauptmasse der Erde ein größeres Gewicht — nach ziemlich allgemein angenommener Schätzung ungefähr 7 — haben. Man hat, dieser Zahl entsprechend, nickelhaltiges Eisen als Kernsubstanz der Erde angenommen. Diese Vermuthung hat wegen der Häufigkeit eisenhaltiger Stoffe in allen Theilen der Erde manches für sich, sie wird bestätigt durch das Vorkommen metallischen Eisens an mehreren Orten in basischen, also vermuthlich großen Tiefen entstammenden Gesteinen. Neben dem Eisen führen diese Gesteine — Basalte — schwere Mineralien, unter anderen Olivin, einen Körper, der den leichteren Gesteinen fehlt, in der Tiefe aber aller Wahrscheinlichkeit nach sehr verbreitet ist. Besonders wird die Ansicht, daß der Kern der Erde aus Eisen bestehe, durch die Analogie mit den Meteoriten bestätigt. Dieselben bestehen zum großen Theil aus nickelhaltigem Eisen, vergesellschaftet mit vorzugsweise basischen schweren Silikatmineralien. Das Eisen der Meteoriten zeigt dieselbe Zusammensetzung und Struktur, wie das der Erde entstammende. Da viele Gründe dafür sprechen, daß die Meteoriten Bruchstücke größerer Planeten sind, so läßt sich gegen die Heranziehung dieser Naturkörper zum Vergleich mit den Bestandtheilen der Erde wohl kaum etwas einwenden.

Die ganze vorstehende Ausführung ist rein hypothetisch. Ihr Ergebniß kann nicht beanspruchen als Thatsache angesehen zu werden. Außer Acht gelassen ist dabei die Möglichkeit, daß der hohe Druck, welchem die inneren Theile der Erde ausgesetzt

sind, das spezifische Gewicht der Körper im Innern derart verändert, daß ein Körper, der am Erdmittelpunkt mit dem Gewicht 7 erscheint, an der Erdoberfläche, unter dem Druck von nur einer Atmosphäre, bedeutend leichter ist. Young[2] will gefunden haben, daß Wasser in einer Tiefe von 80 geographischen Meilen das Gewicht des Queckſilbers habe, daß Stahl im Erdmittelpunkt das Gewicht 28, und steinige Substanzen etwa 20 besitzen. Die Zahlen sind gefunden worden unter der Voraussetzung, daß der Einfluß des Drucks in derselben Weise zunimmt, wie es innerhalb enger Grenzen experimentell beobachtet werden konnte. Wir dürfen ziemlich sicher annehmen, daß dies nicht der Fall ist. Wahrscheinlich wächst die Zusammendrückbarkeit der Körper nicht proportional dem Druck. Außerdem kann man einwenden, daß die mit der Tiefe steigende Temperatur des Erdinnern dem Druck entgegenwirkt, indem sie das spezifische Gewicht der Substanzen erniedrigt. In welcher Weise und in welchem Grade aber Druck und Temperatur einander gegenseitig beeinflussen, welches Gewicht die Substanzen unter ihrem doppelten Einfluß in irgend einer Tiefe haben, das entzieht sich bis jetzt vollständig unserer Kunde. Das Experiment hat darüber noch nichts ergeben. Hat Young Recht, so sind wir gezwungen, noch leichtere Substanzen, als die, welche die Rinde der Erde bilden, als Bestandtheile des Erdkerns anzunehmen, also etwa Gase.

Die meisten Geologen halten bis jetzt noch, — soweit wir überhaupt Aeußerungen über die Substanz des Erdinnern finden, — das Vorhandensein von Eisenmassen für das Wahrscheinlichste.

Wenn nun auch die Bohrungen bezüglich der Substanzen, aus denen das Erdinnere besteht, kein Resultat ergeben haben, so sind sie doch in anderer Beziehung für unsere Kenntniß der Erde hochwichtig gewesen — und werden es immer bleiben, — nämlich in Bezug auf die Wärmeverhältnisse. Sie haben eine früher schon oft ausgesprochene Vermuthung überall bestätigt,

daß die Wärme nach dem Innern der Erde hin allmählich zunimmt.

Der Grad der Zunahme ist allerdings sowohl in den verschiedenen Gegenden der Erde, als auch in verschiedenen Tiefen recht verschieden.

Ein Blick auf die untenstehende Zusammenstellung der geothermischen Tiefenstufen zeigt dies. (Unter geothermischer Tiefenstufe versteht man den durchschnittlichen Betrag, um welchen man sich dem Erdmittelpunkte nähern muß, um eine Zunahme der Temperatur um 1°C zu beobachten).

Beiläufig erwähnt sei hier nur, daß das Anwachsen der Temperatur erst von einer gewissen Tiefe an stattfindet. In den alleräußersten Schichten der Erde wechselt die Wärme mit den Jahreszeiten. Mit dem Eindringen in die Erde nimmt der Unterschied zwischen den kältesten und wärmsten Graden ab, bis in einer Tiefe von ca. 20 Metern bei uns (an anderen Orten ist die Tiefe etwas anders) die Temperatur jahrein, jahraus dieselbe ist, so zwar, daß sie der mittleren Jahrestemperatur des Orts an der Oberfläche der Erde entspricht. Erst von diesem Punkte an, bis zu welchem die von der Sonne herrührenden Wärmeschwankungen nicht mehr hinabreichen, macht sich der Einfluß eines im Innern der Erde befindlichen Wärmeherdes bemerkbar.

I. Geothermische Tiefenstufen.[3]

a. Bergwerke.

	Maximum	Minimum	Durchschnitt.
Preußen	115,3	15,5	54,3 m
Sachsen	—	—	41,8 „
Schemnitz (Ungarn)	51,1	30,3	41,4 „
Cornwall	—	—	19 „
Newcastle	—	—	33 „
Manchester	—	—	39 „
Belgien	—	—	34 „
Anzin (Frankreich)	26,73	15,45	21,09 „
Minaes Geraes	—	—	86 „

b. Bohrlöcher.

	Durchschnitt
Rüdersdorf	30 m
Neusalzwerk	29,2 „
Mondorff (Luxemburg)	31,04 „
Pitzbühl bei Magdeburg	26,5 „
Artern (Thüringen)	40 „
La Rochelle	20,1 „
St. André	30,95 „
Liverpool	86 „
Neuffen	11 „
Monte Massi (Toskana)	13,7 „
Schladebach	35,7 „
Sperenberg	32,51 „

II. Außergewöhnliche Temperaturen.

Bergwerke	Tiefe	Wärme der Luft
Comstock Gang (Sierra Nevada)	610 m	40° C
Przibram (Böhmen)	889 „	17 „

III. Bohrung von Schladebach bei Leipzig.[4]

Nr.	Tiefe	Temper. R.	Zunahme	Nr.	Tiefe	Temper. R.	Zunahme
1	36 m	8,8°	—°	19	576 m	20,6°	0,8°
2	66 „	9,6 „	0,8 „	20	606 „	21,1 „	0,5 „
3	96 „	10,3 „	0,7 „	21	636 „	21,3 „	0,2 „
4	126 „	10,9 „	0,6 „	22	666 „	22,0 „	0,7 „
5	156 „	11,3 „	0,4 „	23	696 „	22,9 „	0,9 „
6	186 „	12,2 „	0,9 „	24	726 „	23,3 „	0,4 „
7	216 „	13,0 „	0,8 „	25	756 „	23,9 „	0,6 „
8	246 „	13,6 „	0,6 „	26	786 „	24,8 „	0,9 „
9	276 „	14,3 „	0,7 „	27	816 „	25,2 „	0,4 „
10	306 „	14,5 „	0,2 „	28	846 „	26,3 „	1,1 „
11	336 „	15,2 „	0,7 „	29	876 „	27,2 „	0,9 „
12	366 „	15,4 „	0,2 „	30	906 „	27,8 „	0,6 „
13	396 „	16,6 „	1,2 „	31	936 „	28,5 „	0,7 „
14	426 „	17,1 „	0,5 „	32	966 „	29,3 „	0,8 „
15	456 „	17,7 „	0,6 „	33	996 „	29,8 „	0,5 „
16	486 „	18,3 „	0,6 „	34	1026 „	30,1 „	0,3 „
17	516 „	19,0 „	0,7 „	35	1056 „	30,4 „	0,3 „
18	546 „	19,8 „	0,8 „	36	1086 „	31,3 „	0,9 „

Nr.	Tiefe	Temper. R.	Zunahme	Nr.	Tiefe	Temper. R.	Zunahme
37	1116 m	32,2 °	0,9 °	48	1446 m	40,9 °	0,5 °
38	1146 „	32,7 „	0,5 „	49	1476 „	41,5 „	0,6 „
39	1176 „	33,7 „	1,0„	50	1506 „	42,3 „	0,8 „
40	1206 „	34,4 „	0,7 „	51	1536 „	42,5 „	0,2 „
41	1236 „	35,2 „	0,8 „	52	1566 „	42,8 „	0,3 „
42	1266 „	36,2 „	1,0 „	53	1596 „	43,6 „	0,8 „
43	1296 „	36,9 „	0,7 „	54	1626 „	44,0 „	0,4 „
44	1326 „	37,7 „	0,8 „	55	1656 „	44,4 „	0 4 „
45	1356 „	38,8 „	1,1 „	56	1686 „	45,2 „	0,8 „
46	1386 „	39,7 „	0,9 „	57	1716 „	45,3 „	0,1 „
47	1416 „	40,4 „	0,7 „				

IV. Bohrung von Sperenberg bei Berlin.

Nr.	Tiefe	Wärme C.	Zunahme	Tiefenstufe
1	220 m	21,58 °	— °	— m
2	283 „	23,47 „	1,89 „	33,40 „
3	345 „	26,43 „	2,96 „	21,30 „
4	408 „	26,88 „	0,45 „	140,00 „
5	471 „	29,08 „	2,20 „	28,70 „
6	534 „	30,92 „	1,84 „	34,20 „
7	597 „	33,12 „	2,20 „	28,70 „
8	660 „	35,83 „	2,71 „	23,30 „
9	1064 „	46,55 „	10,72 „	37,75 „
10	1269 „	48,10 „	1,55 „	132,00 „

Konstante Bodentemperatur in 20 Meter 9,75°.

Auf 1249 Meter fand eine Temperaturerhöhung von 38,35° statt, also beträgt die mittlere geothermische Tiefenstufe 32,51 Meter.

V.

Temperaturbeobachtungen, welche von Stapff im Gotthardtunnel vorgenommen wurden, haben eine allmähliche Zunahme der Wärme auf der horizontalen Strecke nach dem Innern des durchstochenen Berges zu ergeben. Die von Stapff veröffentlichten Profile zeigen, daß die Wärme im Tunnel von der Tiefe des betreffenden Ortes unterhalb der Oberfläche des Berges

abhängt, so daß auch diese Beobachtungen die sonst beobachtete Wärmezunahme mit zunehmender Entfernung von der Erdoberfläche zeigen.

Betrachten wir nun die vorstehenden Zahlen etwas genauer, so sehen wir auf den ersten Blick, daß von irgend welcher Gleichförmigkeit in der Zunahme der Wärme nichts in denselben zu erkennen ist. Die Zahlen schwanken in der auffallendsten Weise. Für zahlreiche Unregelmäßigkeiten hat man genügende Ursachen herausgefunden. So z. B. nimmt die Wärme in Kohlenbergwerken verhältnißmäßig rasch zu infolge chemischer Vorgänge in der Steinkohle. Die oben angegebene geringe Tiefenstufe des Monte Massi erklärt sich aus der Nähe heißer Quellen. Für die Unregelmäßigkeiten der Messungen von Sperenberg und Schladebach dagegen fehlt uns jegliche Erklärung.

Es ist versucht worden, die Wärmezunahme innerhalb eines und desselben Bohrlochs durch eine allgemeine Formel auszudrücken. Für Sperenberg z. B. war eine Formel aufgestellt worden, welche innerhalb gewisser Tiefen eine einigermaßen gute Uebereinstimmung zwischen den berechneten und beobachteten Temperaturen ergab. Eine Verallgemeinerung derselben über die der Beobachtung zugängliche Tiefe von 1300 Meter hinaus hätte aber von 14000 Meter abwärts eine Temperatur des Erdinnern unter 0° ergeben, — ein gewiß unannehmbares Resultat.

Die Messungen von Schladebach haben ebenfalls zur Aufstellung eines Gesetzes, nach dem die Temperaturzunahme erfolgen sollte, geführt. Bei den Abweichungen aber, welche auch in diesem Falle sich zwischen den dem Gesetze entsprechenden und den wirklich beobachteten Wärmegraden herausstellten (dieselben betragen zum Theil einen Grad), überhaupt schon angesichts der Unregelmäßigkeit in der Aufeinanderfolge der Zahlen, welche die

Temperaturzunahme bezeichnen, dürfen wir solchen Gesetzen nicht allzuviel Werth beilegen. Wir dürfen es immerhin schon als ein werthvolles Ergebniß betrachten, wenn die mit aller Vorsicht ausgeführten Messungen von Schladebach zeigen, daß innerhalb der Tiefe bis zu 1500 Meter ein ungefähr gleichmäßiges Zunehmen der Temperatur stattfindet.[5]

Schon die Schwierigkeiten, welche der Beobachtung in Bohrlöchern entgegenstehen, machen die Verwerthung der Resultate zu allgemein gültigen Schlußfolgerungen unmöglich. Das Eindringen der Oberflächengewässer, durch welches die Wärme der Gesteine erniedrigt wird, ist nicht zu verhindern; chemische Vorgänge, durch den Zutritt von Luft oder Wasser hervorgerufen, können die Temperatur erhöhen; Spalten, welche unterirdische Gewässer hinaufführen, müssen an der Stelle, wo der Bohrer sie durchschneidet, eine lokale Temperaturerhöhung anzeigen. Da immer einige Zeit verläuft, bis das Thermometer an die erbohrte Stelle gebracht werden kann, spielt auch noch die Wärmekapazität, bezw. Leitungsfähigkeit des Gesteins eine wichtige Rolle. Fassen wir alle diese Momente, deren Vorhandensein die Messungsergebnisse verdunkelt, ins Auge, so müssen wir zugeben, daß wir kaum Aussicht haben, jemals zur Bildung eines allgemein gültigen Gesetzes für die Wärmezunahme zu gelangen. Wir werden uns wohl mit dem bisher gefundenen Durchschnittsergebniß begnügen müssen, mit der Angabe, daß die Wärme auf je 30 Meter um 1° C. zunimmt.

Eher könnte man schon aus den Messungen in Bergwerken, in welchen das Thermometer sich in frisch geschlagenen Bohrlöchern anbringen läßt, genaue Resultate erhoffen.

Unter der Voraussetzung, daß die Wärme in der Tiefe ähnlich zunimmt, wie in der Nähe der Erdoberfläche, hat man aus den Schladebacher Temperaturbeobachtungen die Tiefe berechnet, in welcher 1600°, die Schmelzwärme der Laven,

angetroffen wird, und dafür 9,6 Meilen gefunden. Keineswegs aber ist damit gesagt, — wie weiter unten ausführlicher gezeigt werden soll — daß in dieser Tiefe thatsächlich Laven im Schmelzfluß befindlich sind; es ist also damit keineswegs etwa eine Dicke der Erdkruste von 10 Meilen berechnet.

Von vielen Seiten, namentlich der Neptunisten, wurden die Messungen von Sperenberg benutzt, um selbst das Vorhandensein eines heißen Erdkerns zu leugnen. Die Annahme eines heißen Erdkerns, für welche noch anderweitige, unten zu erörternde Beobachtungen sprechen, ist durchaus nothwendig, und wird auch durch die in Schladebach gefundenen Zahlen nicht widerlegt. Sagt man aber, der Erdkern sei flüssig, so geht man entschieden zu weit, noch mehr, wenn man auf irgend eine Weise die Dicke der Erdkruste mit Hülfe der eben besprochenen Beobachtungen berechnen wollte. Wir wissen wenig genaues über die Größe des Einflusses, den der Druck der nach Verflüssigung der Stoffe strebenden Wärme entgegensetzt. Später wird diese Seite der Frage näher beleuchtet werden, nur soviel mag hier schon gesagt sein, daß der Einfluß des Drucks höchst wahrscheinlich den der Temperatur bedeutend überwiegt, daß also gerade die Temperaturbeobachtungen für einen festen Erdkern zu sprechen scheinen.

Auch eine Verwerthung der Bohrresultate für die Altersbestimmung der Erde ist ausgeschlossen. Eine solche Berechnung, welche von Seiten vieler Geologen mit Freuden begrüßt wurde, hat der englische Physiker und Geolog William Thomson angestellt. Er ging von der Kant-Laplaceschen Hypothese aus, daß die Erde sich einst in glühend-flüssigem Zustande befunden habe, und berechnete die Zeit, die seit der Bildung einer festen Kruste verflossen sein soll. Seine Berechnungen gründeten sich auf drei Faktoren: die Temperatur der Erde bei Beginn der Erstarrung, die geothermischen Tiefenstufen und die Leitungsfähigkeit

der Gesteine. Bei der Verschiedenheit der Werthe, die für jeden der drei genannten Faktoren möglich sind, darf es uns nicht überraschen, daß das Ergebniß seiner Rechnungen sich innerhalb recht weiter Grenzen bewegt; er fand als Maximum 400, als Minimum 20 Millionen Jahre, als wahrscheinlichste Zahl werden 90—200 Millionen Jahre angegeben. Abgesehen von den Fehlern, denen die Schätzung der Anfangstemperatur unterworfen sein muß, läßt sich, wie Neumayr in seiner „Erdgeschichte" richtig erwähnt, gegen die Benutzung der geothermischen Tiefenstufen der Einwand erheben, daß alle Bohrungen, deren Ergebnisse benutzt wurden, sich nicht in Gesteinen bewegten, welche als Bestandtheile der ursprünglichen Erstarrungskruste angesehen werden können. Die Steinsalzlager von Sperenberg z. B. haben ja nicht die Temperatur, die ihnen aus der Zeit der ersten Abkühlung zukommt, sondern sie sind Absätze eines Meeres, die erst nachträglich wieder von unten her durchwärmt wurden. Es liegt auf der Hand, daß schon in dieser einen Thatsache ein unübersteigbares Hinderniß liegt, die nahe der Erdoberfläche gewonnenen Ergebnisse auf die ganze Masse der Erde zu übertragen. Außerdem wurde von Thomson nicht beachtet, daß durch die mit der fortschreitenden Erstarrung zunehmende Zusammenziehung der Erde Wärme frei werden müßte, welche den Vorgang der Erkaltung wesentlich verzögerte. Wenn auch die Größe der so entstandenen Wärmemenge sich vorläufig der zahlenmäßigen Feststellung entzieht, so darf man doch mit Sicherheit behaupten, daß Thomsons Zahlen zu gering sind, daß somit auch die Einwände, welche gegen die Theorien Darwins und Lyells, welche ja ungeheure Zeiträume in Anspruch nehmen, mit Hülfe dieser Zahlen gemacht wurden, hinfällig sind.

Die durch die Wärmemessungen gefundene Thatsache, daß im Erdinnern höhere Temperaturen herrschen, ist schon durch die einfache Thatsache des Vorkommens heißer Quellen und

glühender Laven zweifellos festgestellt. Daß Gewässer von Siedehitze, daß geschmolzene Gesteine von über 1000° Wärme dem Erdinnern entsteigen, beweist, daß dort hohe Temperaturen herrschen. Das allgemeine Vorkommen in den verschiedensten Gegenden der Erde, in der Nähe der Pole, wie am Aequator, macht die Annahme mancher Geologen von örtlichen Wärmequellen unwahrscheinlich.

Solche lokale Wärmeherde sind in großer Zahl angegeben worden.[6] Ungefähr jeder chemische und mechanische Vorgang, der sich gelegentlich in der Erde abspielt, soll imstande sein, die Gesteine zu schmelzen oder Gewässer zu erhitzen. So ist die Oxydation von Kieslagern als Ursache der Schmelzung der Laven bezeichnet worden, Steinkohlenbrände sind für die besagten Wärmeerscheinungen verantwortlich gemacht. Gay Lussac benutzt die Wasseraufnahme von wasserfreien Chloriden, Davy die Oxydation von Metallen, namentlich Alkalimetallen zur Erklärung der Erscheinungen. Doch können die angegebenen chemischen Ursachen aus zwei Gründen nicht angenommen werden. Erstens müßten diese Vorgänge in ganz außerordentlich großem Maßstabe stattfinden, einem Maßstabe, wie er nie auch nur annähernd beobachtet wurde; sodann wäre doch zu erwarten, daß die ausgeworfenen Lavamassen ganz vorwiegend mit aus den die Wärme erzeugenden Massen bestehen, — auch dafür fehlt jegliche Beobachtung.

Wenn Mallet[7] und andere Forscher der neptunistischen Schule besonders mechanische Wärmequellen angeben, so sind sie nicht glücklicher. Sowohl die Faltung und Zusammenschiebung, als auch die Zertrümmerung der Gesteine müssen Wärme erzeugen, dagegen läßt sich nichts einwenden. Man wußte nach den Untersuchungen von J. Thomson,[8] daß der Schmelzpunkt des Eises durch Druck erniedrigt wird. Dasselbe wurde für die erdbildenden Gesteine angenommen; es wurde behauptet, daß bei

dem enormen Druck innerhalb der Erde eine geringe Wärmesteigerung Schmelzung herbeiführen müsse. Später wird gezeigt werden, daß der Vergleich der Gesteine mit Eis unzulässig ist, indem sich dieselben gerade entgegengesetzt verhalten. Der Druck erhöht die Schmelzwärme derselben. Außerdem macht Reyer[6] mit Recht die Bemerkung, daß aus den angegebenen Theorien das Vorkommen von eruptiven Kalksteinen, Quarziten u. s. w. nothwendig gefolgert werden müsse, da ja auch diese Gesteine einen ganz bedeutenden Antheil an dem Bau der Erdrinde haben.

Als Ursache der Faltung und Stauung, überhaupt der mechanischen Vorgänge in der Erdrinde, — Vorgänge, für welche man heute meistens die Zusammenziehung des erkaltenden Erdballs verantwortlich macht, — bezeichnen die Neptunisten allein die Schwere, welche sich geltend macht, wenn den Schichten die feste Unterlage durch Erosion entzogen wird. So wäre hier in letzter Linie die Sonnenwärme, welche den Kreislauf des Wassers bewirkt, Ursache der Schmelzung der Gesteine.[9]

Die Vertreter der heute noch ziemlich verbreiteten Ansicht, die Erde sei im wesentlichen flüssig, stützen sich zum Theil auf die Kantsche Hypothese der Planetenbildung. Aus derselben scheint unmittelbar und nothwendig zu folgen, daß die einst ganz flüssige Erde sich bei der Erkaltung mit einer festen Kruste umgeben habe, daß das Innere noch flüssig sei. Theile dieses flüssigen Erdinnern werden durch die Vulkane an die Erdoberfläche befördert. Damit aber eine solche Beförderung möglich sei, muß die Kruste verhältnißmäßig dünn sein, sonst würde die Lava auf ihrem weiten Wege durch das Gestein unterwegs erhärten. Die Stärke der festen Kruste wird verschieden angenommen, oft findet man die Dicke von etwa 5 Meilen angegeben. Dies mit wenig Worten die Ansicht einer ganzen Zahl von Forschern, die sich noch in vielen Lehrbüchern der Geographie und Geologie findet, die auch von zahlreichen Gebildeten getheilt wird.

Indeſſen hat von jeher — neben den ſchon genannten Widerſachern — eine große Gegnerſchaft gegen dieſe Hypotheſe beſtanden, welche aus aſtronomiſchen und phyſikaliſchen Gründen dieſelbe für unhaltbar erklärte.

Unter erſteren würde die Präzeſſion und Nutation der Erdachſe, der Betrag dieſer Erſcheinung zum Nachweis dafür benutzt, daß die Hauptmaſſe der Erde feſt ſei.

Die Achſe der Erde behält im Laufe der Jahre nicht immer dieſelbe Lage im Weltenraum bei, ſondern ſie beſchreibt um die Achſe ihrer Bahn um die Sonne, der Ekliptik, einen Kegelmantel, wie die Achſe eines umfallenden Kreiſels. Dieſe Schwankung der Erdachſe iſt eine Folge der unregelmäßigen Geſtalt der Erde. Die Anziehung, welche Sonne und Mond auf den äquatorialen Wulſt ausüben, ſtrebt die Erdachſe ſenkrecht zu ihrer Bahn zu ſtellen. Da aber die Erde um ihre Achſe rotirt, ſo reſultirt daraus die Drehung der Erdachſe um die Achſe der Ekliptik. Dieſe Erſcheinung wurde von Hopkins[10] benutzt, um den Grad von Starrheit zu berechnen, den die Erde beſitzen muß. Er behauptete, daß die Nutation einen anderen Betrag haben müſſe, wenn die Erde der Hauptſache nach flüſſig, als wenn ſie mehr oder weniger feſt ſei. Er berechnete die Wirkung der genannten Anziehungskraft auf Körper von verſchiedenem Bau. So legte er einen flüſſigen Körper mit feſter Schale, den damaligen Anſchauungen entſprechend, ſeiner Rechnung zu Grunde, nahm erſt eine homogene Flüſſigkeit in homogener Schale, dann eine ungleichförmige Flüſſigkeit in ungleichförmiger Schale an, und gelangte zu dem Ergebniß, daß die Erdkruſte eine Dicke von mindeſtens 200 Meilen — alſo einem Viertel bis Fünftel des Erdradius — haben müſſe, daß aber auch eine durchaus ſtarre Erde den thatſächlichen Verhältniſſen entſpräche.

Die Dicke der Kruſte, welche Hopkins fand, übertraf

weitaus dasjenige Maß, welches man ihr vorher auf Grund geologischer Thatsachen gegeben hatte. Er sah sofort ein, daß die Laven, welche man als Bestandtheile des flüssigen Erdkerns betrachtet, unmöglich einen Weg von 200 Meilen durch die Kruste zurücklegen könnten, ohne zu erstarren, und nahm deshalb, um die Eruption flüssiger Laven zu erklären, an, daß unterhalb der Vulkane einzelne Hohlräume mit schmelzenden Stoffen innerhalb der festen Erdrinde befindlich seien.

Hopkins fand zahlreiche Gegner. Neben solchen, welche seine Berechnungen nicht anerkennen wollten, weil ihnen sein Erklärungsversuch der vulkanischen Eruptionen nicht genügte, suchten Andere[11] die Ergebnisse seiner Rechnung unglaubhaft zu machen, indem sie ihn vom physikalischen Standpunkte aus angriffen. Sie zeigten, daß das Erdinnere keineswegs eine vollkommene Flüssigkeit sein könne, wie Hopkins annahm, sondern zähe sein müsse, sowie ferner, daß die Reibung des flüssigen Kerns gegen die feste Schale von erheblichem Einfluß sei, welchen Einfluß Hopkins vernachlässigt hatte.

W. Thomson,[12] der ein dem Gebiete der Physik wie der Geologie hochberühmter Forscher, nahm die Berechnungen Hopkins wieder auf, indem er die Fehler seines Vorgängers zu vermeiden suchte. Er berechnete die Größe der Präzession und Nutation für einen Körper aus einer homogenen, nichtzusammendrückbaren Flüssigkeit, beweglich wie Wasser, von einer dünnen Schale umgeben, sowie für ein zähflüssiges, ungleichförmiges Inneres. Er berechnete einen Grad der Starrheit, welcher den des Glases übertrifft und ungefähr dem gleichkommt, als wenn die ganze Erde aus Stahl bestände. Die ersten Veröffentlichungen Thomsons erschienen in den sechziger Jahren. Mitte der siebenziger Jahre nahm er die eben dargestellte Begründung[13] seiner Behauptung, die Erde sei starr, zurück, an seiner Behauptung hielt er trotzdem fest auf Grund seiner Betrachtung der Ebbe- und Flutherscheinungen.[14]

Denſelben Ausgangspunkt wählten Poiſſon, Ampère[15] und Geo. Darwin[16] für ihre Berechnungen. Es würde zu weit führen, den Ausführungen dieſer Forſcher genauer zu folgen. Der Kernpunkt ihrer Unterſuchungen beſteht in dem Gedanken, daß die Erde, wenn der Hauptſache nach flüſſig, infolge der Mondanziehung gewaltige Fluthwellen werfen müßte. Das Vorhandenſein ſolcher Fluthwellen wurde von den erſtgenannten Phyſikern geleugnet. Thomſon gab zu, daß die Erde ſelbſt Fluthwellen wirft. Er berechnete, daß die oceaniſche Fluthwelle größer ſein müſſe, als ſie iſt, wenn die Erde nicht auch der Anziehung des Mondes folgte. Indem er nun die Differenz zwiſchen der theoretiſch abgeleiteten und der thatſächlich beobachteten Fluthhöhe des Oceans feſtſtellte, fand er, daß dieſe Differenz, — veranlaßt durch die Fluthbewegung des feſten Erdkörpers ſelbſt —, einen Betrag zeige, der der Fluthhöhe eines ganz aus Stahl beſtehenden Körpers gleichkäme. Ebenſo fand Geo. Darwin, daß die Erde einen bedeutenden Grad von Starrheit beſitzen müſſe. Er legte einen etwas anders konſtruirten Erdkörper der Rechnung zu Grunde, als Thomſon, um den Vorwürfen, welche Letzterem, wie ſchon oben geſagt, gemacht wurden, zu entgehen. Nach Anſicht von Darwin würde die Meeresfluth, wenn die Erde nur ſo ſtarr wäre, wie Pech, nicht bemerkbar ſein, weil dann die Oberfläche des Erdkörpers ſo ſtark verändert werden würde, daß ſie ſich der Oberfläche des in Fluthbewegung befindlichen Oceans parallel ſtellen würde.

Allen dieſen Rechnungen wurde neben den ſchon bezeichneten noch der Vorwurf gemacht, z. B. von Wadsworth,[11] daß ſie ſich auf einen irgendwie hypothetiſch konſtruirten Körper beziehen, den man nicht der Erde gleichſetzen dürfe. Der Einwand hat inſofern ſeine Berechtigung, als wir zugeben müſſen, daß wir über die Beſchaffenheit des Erdinnern nichts Beſtimmtes wiſſen. Doch iſt zu beachten, daß ungefähr alle Möglichkeiten in Betracht

gezogen sind, — homogene und nicht homogene, zähe und elastische Substanzen, gleichförmige und ungleichförmige Rinde, — also gerade solche Beschaffenheiten, wie sie von den Verfechtern des flüssigen Erdinnern behauptet wurden. Ferner ist gewiß bemerkenswerth, daß alle Rechnungen, gleichviel von welcher Grundlage ausgehend, dasselbe Ergebniß haben, nämlich, daß die Erde ihrer Hauptmasse nach starr ist.

Neben den besprochenen Betrachtungen, welche von den Erscheinungen der Erde in ihrer Beziehung zu anderen Himmelskörpern ausgingen, ist eine Reihe von Arbeiten, zum Theil derselben Forscher, die oben genannt wurden, zu berücksichtigen, welche sich im wesentlichen mit der Frage beschäftigen: Wie muß die Erde erstarrt sein, von innen her oder von der Peripherie aus?

Hopkins hatte sich für die erstere Art und Weise erklärt. Er meinte, daß infolge der Abkühlung die Dichtigkeit der einzelnen Theile der Erde vermehrt werde und dieselben so dem Centrum derselben zustrebten, daß das Centrum zuerst erstarrt sei und dann auch die peripherischen Theile feste Form angenommen hätten. Er legte dabei die Kant-Laplacesche Hypothese von der einst glühend flüssigen Beschaffenheit des Erdkörpers zu Grunde. Hennessy[11] nahm auch diese Beschaffenheit in einem früheren Zustand der Erde als gegeben. Er führte aus, daß sich in dem ganz flüssigen Sphäroid die Theile nach ihrem Gewicht ordnen mußten: die schwereren nahmen das Centrum ein, die leichteren lagerten sich um dasselbe herum, bis ein Gleichgewichtszustand herbeigeführt wurde. In diesem mußte der Erdkörper aus einer Reihe konzentrischer Schalen bestehen, in welcher jede Schale in sich ein gleichmäßiges, von dem jeder höheren oder tieferen Schale verschiedenes spezifisches Gewicht hatte. Die äußeren Schalen, welche zuerst ihre Wärme abgaben, erfuhren

dadurch eine Zunahme ihrer Dichte, mußten also zu sinken streben. Wärmere Theile kamen so mit den abgekühlten in Berührung, wodurch letztere wieder erwärmt wurden, also aufstiegen. Die tiefer liegenden Schalen hatten Wärme abgegeben, strebten zu sinken, trafen aber auf spezifisch schwerere Substanzen, die dies verhinderten. Also immer mußten die anfangs vielleicht sinkenden Theile der ersten Erstarrungskruste wegen der Erwärmung von unten her und wegen des höheren Gewichts der tiefer liegenden Theile wieder aufsteigen. So schließt Henessy, entgegengesetzt Hopkins, eine Erstarrung von der Peripherie her. Er giebt als Grenzwerthe für die Dicke der Kruste 4 Meilen im Minimum und 150 Meilen im Maximum an.

Der von Henessy betretene Weg wurde später von vielen Anderen weiter verfolgt. Ehe indessen mit Hoffnung auf sichere Ergebnisse an der Lösung der Frage weiter gearbeitet werden konnte, mußte das Verhalten der Materie, speziell der erdbildenden Substanzen, gegen Wärme, besonders aber auch gegen Druck, genauer studirt werden. Wenn wir bei Henessy und Hopkins namentlich eine genauere Würdigung des letztgenannten Faktors vermissen, so liegt dies daran, daß die Untersuchungen, welche das Verhalten der Körper beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand genauer kennen lehrten, zumeist in eine spätere Zeit fallen. Es mußte besonders genau untersucht werden, ob die Körper beim Erstarren sich ausdehnen oder sich zusammenziehen, mit anderen Worten, ob das spezifische Gewicht derselben erniedrigt oder erhöht wird. Daneben mußte das hiermit eng zusammenhängende Verhalten gegen Druck näher geprüft werden. Wenn erkaltete Schlackenmassen von der Oberfläche der Erde her in den Gluthball einsanken, so kamen sie unter veränderte Druckverhältnisse. Der erhöhte Druck konnte verfestigend oder verflüssigend auf dieselben einwirken. Hopkins hatte die Bedeutung dieses Faktors erkannt, ohne

indes denselben in seine Betrachtung einführen zu können, da ihm die nöthigen Daten über das Verhalten der einzelnen Körper fehlten. Er sagt, daß das Erdinnere mehr oder weniger flüssig sein müsse, wenn das Bestreben der Temperatur, die Massen zu verflüssigen, schneller zunehme, als der Einfluß des Drucks, welcher sie verfestigt, daß aber umgekehrt das Erdinnere fest sei, wenn der Druck sich stärker geltend mache, als die Temperatur, mit anderen Worten: ob die Erde fest ist oder flüssig, hängt von der relativen Zunahme der Temperatur und des Druckes ab, sowie von dem Verhalten der erdbildenden Stoffe gegen Druck und Wärme.

Hopkins machte, ebenso wie Bunsen,[17] einige Versuche bezüglich des zuletztgenannten Punktes. Er fand, daß der Schmelzpunkt von Wachs, Schwefel, Stearin durch steigenden Druck erhöht wird, daß die Erhöhung der Schmelzwärme aber nicht proportional dem Druck stattfindet, sondern mit steigendem Druck geringer wird. Für metallische Legierungen konnte er überhaupt keine Schmelzpunktserhöhung bei zunehmendem Druck beobachten. Hopkins selbst legte seinen Versuchen keinen entscheidenden Werth bei, da die untersuchten Substanzen als Bestandtheile der Erde nicht oder nur in ganz untergeordneter Menge in Betracht kommen. Bezüglich der mineralischen Stoffe standen ihm keine Daten zu Gebote.

Später behandelte W. Thomson denselben Gegenstand. Sein Bruder J. Thomson hatte das Gesetz aufgestellt, daß für alle Substanzen, welche sich beim Erstarren zusammenziehen, Druck den Schmelzpunkt erhöht, während bei den Körpern, welche beim Gefrieren Volumvermehrung erfahren, der Schmelzpunkt durch Druck erniedrigt wird. Für Wasser hat Thomson das Gesetz experimentell bestätigt. Eis schmilzt unter erhöhtem Druck,

selbst bei Temperaturen unter 0°, weil Wasser bekanntlich beim Gefrieren sich ausdehnt.

In Bezug auf die Gesteine galten ihm Bischofs Versuche als maßgebend. Dieselben hatten ergeben, daß die steinigen Substanzen beim Erstarren eine Kontraktion bis zu 25 % erfahren. Bei diesen Stoffen muß also Druck den Schmelzpunkt erhöhen. Da nun in der Erde der Druck bei je 100 Fuß um etwa 9 Atmosphären, (in der Tiefe noch höher!) die Wärme nur um 1° zunimmt, so schloß Thomson, daß die Erde im Centrum starr sei.

Doch wurden Bischofs Versuche von manchen Seiten nicht anerkannt; man warf ihm vor, daß sie nicht unter Beobachtung aller Vorsichtsmaßregeln angestellt seien. Namentlich wendet sich Forbes[19] gegen dieselben.

Bischof hatte folgende Volumenverhältnisse gefunden:

	geschmolzen	glasig erstarrt	krystallinisch
Basalt....	1000 Theile	963 Theile	896 Theile
Trachyt...	1000 „	888 „	818 „
Granit ...	1000 „	888 „	748 „

Forbes wiederholte die Versuche und fand selbst Zusammenziehung, jedoch nicht in so großem Maßstabe, wie Bischofs Zahlen zeigen.

Trotz dieses Ergebnisses hielt er seine eigenen Versuche für ungenügend. Er ließ die Frage, ob bei den genannten Gesteinen Kontraktion stattfinde, offen, weil ihm die Beobachtung der natürlichen Vorkommnisse den durch das Experiment gefundenen Ergebnissen zu widersprechen schien. Er sagte, daß die Beobachtung von Gesteinen in Gang- und Lagerform immer eine scharfe Abgrenzung gegen das Nebengestein erkennen lasse, daß dort von einer Kontraktion nichts zu sehen sei. Abgesehen davon, daß Gänge von Eruptivgesteinen doch sehr oft, wenn auch nicht gerade an der Berührungsstelle mit dem Nebengestein, so doch

im Innern des Ganges selbst, Sprünge zeigen, die sich sehr wohl als Kontraktionsrisse deuten lassen, scheint Forbes ganz außer Acht gelassen zu haben, daß an der Erdoberfläche erstarrte Gesteine, Basalt z. B., eigentlich immer Kontraktionserscheinungen zeigen. Später wird dieser Punkt noch einmal ausführlicher behandelt werden.

Außer Forbes haben Andere[19] experimentell gezeigt, daß Silikate zu den Substanzen gehören, welche sich beim Erstarren zusammenziehen, welche also durch Druck verfestigt werden.

Neben den Silikatgesteinen verdient noch das Verhalten des Eisens, bezw. der Metalle, von denen oben gesagt wurde, daß sie vielleicht einen großen Theil des Erdinnern ausmachen, Beachtung. Auch hierüber liegen zahlreiche Versuche vor. Mallet,[20] der auch Silikate untersuchte, fand für geschmolzenes Schmiedeeisen hoch über der Schmelztemperatur das spezifische Gewicht 6,65, für dasselbe Eisen kalt 7,17, so daß hiernach Eisen zu derselben Klasse von Substanzen gehören würde, wie die Silikate. Die Versuche wurden auf andere Substanzen ausgedehnt, und bezüglich des Eisens wiederholt.[21] Stahl und Schmiedeeisen, Messing, Silber sanken in kaltem Zustande in dem geschmolzenen Material von gleicher Zusammensetzung unter. Bezüglich des Schmiedeeisens stellten Hannay und Anderson[22] nochmalige Versuche an, indem eine Kugel dieses Materials in eine geschmolzene Masse desselben eingetaucht wurde. Das geschmolzene Eisen war dem Erstarrungspunkt möglichst nahe. Wenn die Kugeln kalt waren, sanken sie, mit der Erwärmung tauchten sie empor, und stiegen, je wärmer sie waren, desto höher. Die genannten Forscher fanden, daß geschmolzenes Eisen sich im Moment des Festwerdens um etwa 6% ausdehnt. Roberts und Wrigtson[23] fanden dieselbe Zahl, stellten aber fest, daß diese Ausdehnung nur in dem Uebergangsaugen-

blick aus dem flüssigen in den festen Zustand gilt, also gewissermaßen im plastischen Zustande, daß aber bei der Festwerdung eine Zusammenziehung um 7% stattfindet. Nies und Winkelmann[24] untersuchten Zinn, Zink, Wismuth, Antimon, Eisen und Kupfer in festem und flüssigen Zustand bei Temperaturen, die dem Schmelzpunkt möglichst nahe lagen. Das Ergebniß war, daß diese Substanzen, wenn heiß, im festen Zustande leichter, als im flüssigen sind. Druck würde dieselben also, wie Eis, bei niederer Temperatur flüssig machen können. Wollte man aber diese Versuche dazu benutzen, um zu beweisen, daß die Metalle im Erdinneren in flüssigem Zustande vorhanden sind, so ist dem entgegenzuhalten, daß dies nur bei Temperaturen gilt, die dem Schmelzpunkt nahe liegen. Bei Eisen hatte z. B. der Versuch ergeben, daß bei der Festwerdung doch eine Kontraktion stattfindet. Immerhin ist zuzugeben, daß einer Verwerthung der Ergebnisse zu Gunsten der Ansicht, die Erde sei fest, auch Bedenken entgegenstehen, da wir eben über die Temperaturen des Erdinnern nicht genau genug unterrichtet sind.

Die Uebertragung der im Laboratorium gewonnenen Ergebnisse auf die in der Natur stattfindenden Verhältnisse darf überhaupt immer nur mit äußerster Vorsicht geschehen. So hat man thatsächlich die Richtigkeit der experimentell gewonnenen Aufschlüsse über das Verhalten der Körper bei der Erstarrung bestritten. Oben wurde mitgetheilt, daß Wachs und Schwefel zu den Körpern gehören, bei denen Druck den Schmelzpunkt erhöht, welche also im Centrum zuerst starr werden müssen. Forbes sagt z. B., „daß Niemand jemals eine Masse von geschmolzenem Metall oder Schwefel zuerst im Innern habe krystallisiren oder erstarren sehen, da das Innere solcher Massen, wie wohl bekannt ist, flüssig bleibt, nachdem sich auf der Oberfläche eine Kruste gebildet hat, und weiter, daß die Kruste

immer an der Oberfläche bleibt und nicht sinkt". Ebenso bemerkt er, „daß eine Kruste vom Gewicht 2,65 nicht tief in die flüssige Masse der Erdkugel mit der mittleren Dichtigkeit von 5,3 einsinken könne."

Alle Versuche, die wir im Laboratorium vornehmen können, leiden an dem Uebelstande, daß sie in viel zu kleinem Maßstabe gegenüber den natürlich gegebenen Verhältnissen vorgenommen werden müssen. Weder können wir mit großen Massen, noch unter hohen Druck- oder Temperaturverhältnissen arbeiten, wenigstens nicht annähernd unter den in der Natur vorkommenden. Wenn z. B. eine Schwefelmasse im Laboratorium von der Oberfläche her erstarrt, so liegt das wohl meist an den kleinen Dimensionen des Gefäßes, an dessen Wandungen die zuerst gebildeten festen Theile adhäriren und so am Sinken verhindert werden. Dann aber ist auch die Temperaturvertheilung eine andere, als in der Erde, und schließlich spielt die Druckdifferenz zwischen den im Innern des Schmelztiegels befindlichen Massen und den an der Oberfläche liegenden Theilen des Schmelzflusses keine Rolle. Ein weiterer Uebelstand, der kaum zu beseitigen ist, ist der, daß gerade die Theile, welche dem höchsten Druck unterworfen sind, die am Boden des Gefäßes befindlichen, zugleich den höchsten Temperaturen durch die von unten her erwärmende Flamme ausgesetzt sind. — Daß die Zähigkeit des erstarrenden Schmelzflusses, welche das Einsinken der an der Oberfläche gebildeten festen Kruste in das Innere erschwert, bei den kleinen Dimensionen des Schmelzflusses im Laboratorium einen größeren Einfluß haben wird, als bei der erstarrenden Erde, liegt auf der Hand.

Das Verhalten der Metalle ist für die Entscheidung der Frage, ob die Erde fest oder flüssig sei, nicht von so erheblicher Bedeutung, wie das Verhalten der Silikate. Diejenigen, welche einen feuerflüssigen Kern der Erde annehmen, thun dies haupt-

sächlich, weil die Vulkane feuerflüssiges Material liefern. Wenn sich nun aber nachweisen läßt, daß die Silikate zu den Stoffen gehören, bei denen hoher Druck die Verfestigung begünstigt, welche also höchst wahrscheinlich in der Tiefe in festem Zustand vorhanden sind, so ist ein Hauptargument zu Gunsten des flüssigen Erdinnern seiner wichtigsten Stütze beraubt. Die Vulkane befördern ja bekanntlich vorzugsweise Silikate an die Erdoberfläche, Metalle (Eisen) wenn auch an verschiedenen Orten, doch nur immerhin selten.

Früher wurde gesagt, daß für Gesteine der experimentelle Nachweis geliefert wurde, daß sie bei der Erstarrung Kontraktion erleiden. Es bedurfte kaum des mühsamen Experiments, um dies zu zeigen. Die Natur selbst beweist uns die Thatsache: die Experimente können angefochten werden, die natürlichen Thatsachen nicht.

Forbes hatte, wie oben gesagt, geleugnet, daß Gänge und Lager von Eruptivgesteinen Kontraktionserscheinungen zeigen. Wie gleich gezeigt werden soll, haben bei diesen aller Wahrscheinlichkeit nach besondere Verhältnisse mitgespielt. Bei Kuppen und Oberflächenergüssen ist die Erscheinung, daß die ausgeworfenen Massen bei der Erstarrung Kontraktion erfuhren, eine recht häufige. Besonders augenfällig sind die seit alters bekannten säulenförmigen Absonderungsformen der Basalte und Quarzporphyre, sowie die neuerdings erst bekannt gewordenen Säulen des Obsidian.[25] Quarzporphyre und Phonolithe zeigen oft plattige Absonderung. Warum in einem Falle die Kontraktionsrisse parallel, im anderen Falle senkrecht zur Abkühlungsfläche gebildet wurden, diese Erscheinung bedarf noch der Erklärung; daß aber eine Kontraktion in allen diesen Fällen stattfand, ist sicher. Wenn Gänge und Lager die Kontraktionserscheinungen oft vermissen lassen, so mag das an ihrer Bildung liegen. Wenn durch einen Krater gluthflüssiges Material aus-

geworfen war, so mußte die innerhalb des Kraters befindliche Masse — der Gang — lange glühend bleiben, da durch die überlagernde Decke geschmolzener Lava und die durch den Transport der Gluthmasse erhitzten Seitenwände des Ganges eine rasche Abkühlung verhindert wurde. Fand aber doch Erkaltung und damit Kontraktion statt, so ist nicht unwahrscheinlich, daß die zwar im Volumen verringerte, aber doch noch zähe Masse durch Zusammensinken in sich selbst, beziehungsweise Nachschub von unten, wieder den Seitenwänden des Kraters angeschmiegt wurde, so daß der ohnehin nicht bedeutende Betrag der Kontraktion, der bei der endgültigen Festwerdung entstehen mußte, sich der Beobachtung leicht entziehen kann. Handelt es sich doch, wenn auch die Bildung von Kontraktionsrissen stattfindet, immer nur um ziemlich geringe Prozentsätze der Gesteinsmasse bei der Zusammenziehung. Bei einem ohnehin schmalen Gang wird sich ein Kontraktionsriß, der vielleicht 1 % der Gangmasse beträgt, schwer beobachten lassen. Einen so großen Betrag der Kontraktion, wie ihn Bischofs Versuche ergeben hatten, weist die Beobachtung in der Natur nicht auf, und darin können wir Forbes Recht geben, daß er die Größe dieser Zahlen angreift. Bei den Lagern von Eruptivgesteinen, welche nach Ansicht zahlreicher Geologen zum großen Theil sogenannte „intrusive" Eruptivgesteine sind (d. h. solche, die zwischen andere Gesteine eingepreßt wurden), herrschen ähnliche Verhältnisse, wie in den Gängen. Bestätigt werden die vorstehenden Ausführungen dadurch, daß die inneren Theile mächtiger Basaltmassen z. B., welche oberflächlich Säulenabsonderung zeigen, diese Erscheinung nicht aufweisen.

Blicken wir noch einmal zurück. Die Betrachtung der Präzessions- und Nutationserscheinung, sowie der Ebbe- und Fluthhöhe sind zu Gunsten eines soliden Erdinnern deutbar. Die Untersuchungen der Erstarrungserscheinungen lassen sich bezüglich der Metalle vielleicht

bezüglich der Silikatgesteine jedenfalls zu Gunsten der Ansicht, die Erde sei fest, verwerthen. Wenn wir uns demnach zu dieser Ansicht bekennen wollen, so liegt uns noch ob, zu prüfen, wie vertragen sich die vulkanischen Erscheinungen mit der behaupteten Starrheit der Erde? Auf den ersten Blick scheint ja die einfache Thatsache, daß gluthflüssige Massen dem Erdinnern entsteigen, unsere Ansicht vollständig zu entkräften.

Von Hopkins wurde schon oben mitgetheilt, daß er, nachdem er sich für die Starrheit der Erde entschieden hatte, zur Erklärung des Vulkanismus einzelne Hohlräume, mit flüssigen Laven gefüllt, unterhalb der Vulkane annahm.

Zu derselben Ansicht kam auch W. Thomson. Er dachte sich den Erstarrungsvorgang folgendermaßen: „Sobald die Oberfläche anfing, zu erstarren, und in so großer Menge erstarrt war, daß sie nicht mehr schwimmen konnte, sank die Masse gegen das Centrum hinab. Erneute Erstarrung an der Oberfläche erfolgte. Auch das Neuverfestigte sank, und dasselbe wiederholte sich wieder und wieder. Nach und nach wurde eine Art von wabenförmigem, festem Gerüst gebildet. Es entstand ein Skelet oder Rahmen durch die ganze Masse, in welcher sich Pfeiler bis zur Oberfläche erhoben. In den Zwischenräumen zwischen diesen Pfeilern entstanden, wenn sie nahe genug beieinander standen, aus den erstarrten Laven Brücken von festem Gestein, die im Verhältniß zu ihrer Breite dick genug waren, um nicht einzustürzen und zu sinken. . . . Nach und nach wurde die wabenartige Masse nahezu fest mit nur unbedeutenden Zellen von flüssiger Lava." (Etwas gekürzte Uebersetzung der betreffenden Stelle bei Thomson.)

Dieselbe Ansicht wird auch in den berühmten Principles of Geology Lyell's angenommen. Zahlreichen Geologen scheint indes dieser Weg der Vereinbarung der Ergebnisse physikalischer Berechnung und geologischer Beobachtung nicht passend. In einer großen Zahl von Lehrbüchern wird entweder unter Igno-

rirung der oben besprochenen Berechnungen den Vulkanen zu Liebe an dem flüssigen Zustand der Erde festgehalten, oder die Frage nach der Herkunft der Laven als eine offene behandelt.

Ein ganz besonderes Verdienst, die von den Physikern behauptete Starrheit der Erde mit den Ergebnissen geologischer Forschungen in Uebereinstimmung zu bringen, hat sich Reyer erworben,[26] indem er überzeugend nachgewiesen hat, daß selbst starre Gesteine unter geeigneten Umständen in flüssige Laven übergeführt und so zur Eruption gelangen können.

In folgendem wird gezeigt werden, wie die Eruption fester Magmen möglich ist, und daß gewisse Thatsachen der Gesteinslehre, die das mikroskopische Studium der Felsarten offenbart hat, sich am einfachsten erklären lassen durch die von Reyer behauptete Starrheit aller Laven in der Tiefe.

Da die Silikate zu den Substanzen gehören, welche bei dem Erstarren sich zusammenziehen, muß der Druck auf dieselben verfestigend wirken. Die Moleküle derselben haben durch die hohe Temperatur das Bestreben, sich voneinander zu entfernen, welche Bewegung aber durch den die Moleküle einander nähernden Druck aufgehoben wird. Ein zweites Moment, welches berücksichtigt werden muß, besteht in der mehrfach beobachteten Thatsache, daß das Magma von Flüssigkeiten durchtränkt ist. In zahlreichen Gesteinen hat man durch mikroskopische Untersuchung Einschlüsse von Flüssigkeiten, Salzlösungen, Wasser und selbst flüssiger Kohlensäure unter solchen Verhältnissen entdeckt, daß an ein nachträgliches Hineingelangen derselben nicht zu denken und an der Ursprünglichkeit ihres Vorkommens im Gestein nicht zu zweifeln ist. Daneben aber enthält das Gesteinsmagma noch große Mengen von Gasen, welche zum Theil in den Gemengtheilen der Felsarten ebenso wie die Flüssigkeiten, — die man bei Anwendung starker Vergrößerungen

erkennt, — eingeschlossen sind, zum Theil aber auch bei jeder Eruption in großer Menge den Kratern und den Lavaströmen entsteigen.

Die Möglichkeit, daß sich Flüssigkeiten und Gase mit dem Magma in der Tiefe mischen, ist durch den Druck, unter dem sie sich befinden, gegeben. Es ist experimentell festgestellt worden, daß Substanzen, die sich unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht mit Wasser mischen, dies unter hohem Druck thun, wie ebenso auch die gesteigerte Löslichkeit der Gase unter Druck längst bekannt ist.

Wir haben uns also das Magma in der Tiefe heiß, mit Flüssigkeiten und Gasen gemischt, aber infolge des über demselben lastenden Drucks der überlagernden Gesteine fest vorzustellen.

Wird Paraffin in einem zugeschmolzenen Rohre erwärmt, selbst weit über seinen Schmelzpunkt, so bleibt es starr, weil der in dem geschlossenen Rohr entstehende Druck die Verflüssigung verhindert. Wird das Rohr geöffnet, der Druck vermindert, so tritt fast augenblicklich Schmelzung ein.

Wird der Druck über dem Gesteinsmagma der Tiefe verringert, was z. B. durch Verschiebung, Spaltenbildung, Stauung in den überlagernden Gesteinen geschehen kann, so tritt in dem Magma, das infolge des Drucks fest war, ganz oder theilweise Verflüssigung ein. Der Grad der Schmelzung wird ein mehr oder weniger vollkommener sein. Es werden, falls die Druckverminderung sich bis in große Tiefen mit hohen Temperaturen erstreckt, mit anderen Worten ein erheblicher Spalt die Erdrinde durchsetzt, selbst die am schwersten schmelzbaren Bestandtheile des Magma mit verflüssigt werden. In anderen Fällen, wo die Druckverminderung weniger bedeutend ist, wird die Wärme vielleicht nur ausreichen, um einen Theil der in dem intratellurischen Gestein befindlichen Stoffe in flüssige Form zu bringen.

Die Druckverminderung ist indessen nicht nur Ursache der Verflüssigung, sondern sie veranlaßt auch, daß die Gase, welche durch den Druck dem Magma beigesellt waren, plötzlich entweichen. So erklärt es sich, daß bei jeder Eruption Massen von Wasserdampf, Chlorwasserstoff und anderen Gasen dem Krater entströmen. Die Gase sind aber auch mit Ursache des Aufsteigens der Lava im Schlot des Vulkans. Der Druck, den die überlagernden Felsmassen auf die verflüssigte Lava ausüben, würde nicht genügen, um dieselbe hohe Berge hinaufzutreiben. Das ist die Leistung der Gase, die sich plötzlich aus der Lava entbinden. Reyer vergleicht den Vorgang treffend mit dem Aufsteigen kohlensauren Wassers in einem Siphon. Durch den Druck des geschlossenen Gefäßes ist die Kohlensäure in dem Wasser gelöst. Sobald durch Oeffnen des Ventils der Druck vermindert wird, treibt die aus der Flüssigkeit freiwerdende Kohlensäure das Wasser in die Höhe und zerstäubt es. Gerade so zerstäuben die Gase des Magmas die Lava zu Asche und Tuff. Es braucht wohl kaum besonders betont zu werden, daß die eben mitgetheilte Ansicht sich wesentlich von der älteren Vulkantheorie, die heute als gänzlich überwunden gelten kann, unterscheidet. Früher nahm man an, daß die Spannung der im Erdinnern gebildeten Gase, ihr Druck gegen die Erdkruste, Ursache der Beben, sowie des Auftriebs des flüssigen Erdinnern in den Kratern sei. Nach dieser älteren Theorie waren die Vulkane die Sicherheitsventile der Erde, welche von den Gasen geöffnet wurden, wenn der Druck einen gewissen Grad überstieg.

Wollte man die alten Theorien mit dem im Siphon stattfindenden Vorgange vergleichen, so würde die Aehnlichkeit hergestellt sein, wenn die Kohlensäure das Ventil der Flasche selbstthätig öffnete. Thatsächlich hat sie dazu nicht die genügende Spannkraft, ebensowenig wie die Gase des Erdinnern den Kraterweg freimachen können. Das Gas im Siphon kommt

zur Wirkung dadurch, daß die Hand das Ventil öffnet. Bei den Vulkanen spielen die durch Kontraktion der Erdrinde entstehenden Spalten die Rolle der das Ventil öffnenden Hand.

Vom physikalischen Standpunkt läßt sich gegen die vorgebrachte Deutung der vulkanischen Erscheinungen wohl schwerlich ein Einwand erheben, es sei denn, daß man leugnen wollte, daß die Silikate zu den Substanzen gehören, bei denen Druck verfestigend wirkt. Wollte man aber dieselben zu der Klasse von Körpern rechnen, auf welche der Druck, wie auf Eis, verflüssigend einwirkt, so wäre eine Eruption überhaupt unmöglich. Wird Eis stark komprimirt, so schmilzt es selbst bei niederen Temperaturen. Nach Aufhören des Druckes muß das Eis, wenn auch vorübergehend, fest werden. Würden also die erdbildenden Substanzen die Eigenschaft mit dem Wasser theilen, daß sie beim Erstarren Ausdehnung erleiden, so müßte ein Spalt in der Erdkruste die im Innern vielleicht flüssigen Substanzen zur Verfestigung bringen. Der die Druckverminderung veranlassende Spalt wird von einem Lavapfropf verschlossen, welcher das alte Druckverhältniß wiederherstellt.

Also, kurz zusammengefaßt: die Silikate müssen zu den Substanzen gerechnet werden, welche Druck, selbst oberhalb ihres Schmelzpunktes, verfestigt, denn nur unter diesen Umständen ist Eruption derselben möglich. Der Druck nimmt in der Tiefe ganz enorm zu, die Temperatur relativ langsam; mit allergrößter Wahrscheinlichkeit also behält ersterer über die letztere die Oberhand, und die Magmen sind in der Tiefe starr.

Letztere Behauptung wird noch durch eine ganze Anzahl von Beobachtungen an Eruptivgesteinen gestützt.

Man sieht in den Dünnschliffen nicht selten Hornblende, Glimmer und andere basische Gemengtheile am Rande eigenthümlich angefressen, korrodirt oder mit einem Saume von

Mineralneubildungen umgeben. Daß diese Erscheinungen nicht der Verwitterung zugeschrieben werden dürfen, geht aus ihrem Vorkommen in ganz frischen Gesteinen hervor. Man konnte künstlich dieselben Erscheinungen herstellen, wenn man Krystalle der betreffenden Substanzen in Schmelzflüsse von Silikaten eintauchte. Man kann demnach die beschriebenen Vorkommnisse so erklären, daß man annimmt, Hornblende und Glimmer bestanden schon in der Tiefe in einem Gestein, welches vor seiner Eruption nicht vollständig verflüssigt wurde, aber das zum Theil verflüssigte Magma griff die ungeschmolzenen Bestandtheile an. Man könnte auch versuchen, solche Erscheinungen so zu erklären, daß man die korrodirten Mineralien als erste Ausscheidungen aus dem Schmelzfluß ansieht, welche später wieder durch das Magma theilweise gelöst wurden. Dann müßte aber zwischen der ersten Bildung dieser Mineralien und deren späterer Wiederauflösung eine chemische Umwandlung in dem Schmelzfluß sich vollzogen haben! Woher sollte diese stammen?

Aehnlich dürfte die Erklärung für die so häufig bei den Quarzen der Quarzporphyre, Liparite und Rhyolithe angetroffene Erscheinung, (welche übrigens auch bei anderen Mineralien gefunden wird) der abgerundeten Kanten und Einbuchtungen zu geben sein. Das Aussehen der Krystalle deutet darauf hin, daß dieselben in einem früheren Zustande des Gesteins bestanden haben, dann aber theilweise gelöst wurden. Daß sich ein Krystall von freier Kieselsäure aus dem Magma noch vor den später ausgeschiedenen mehr basischen Mineralien gebildet haben sollte, steht nicht mit unseren chemischen Anschauungen in Einklang.

Es lassen sich noch mehr Beispiele anführen. Nur eines von besonderer Beweiskraft sei noch genannt. In den Vereinigten Staaten von Amerika wurden in den letzten Jahren mehrfach Basalte[27] aufgefunden, welche neben Olivin freie Kieselsäure in Form von Quarz enthielten. Es war bis dahin

unerhört, daß in einem Gestein, wie Basalt, Quarz neben Olivin vorkommen könne. Nach allen früheren Erfahrungen konnte Quarz neben dem basischen Olivin nicht bestehen, sondern es war zu erwarten, daß die Kieselsäure mit den Elementen des Olivins ein saureres Silikat, etwa der Pyroxenreihe, bildete. Wären alle Substanzen, die den Basalt zusammensetzen, gleichzeitig in geschmolzenem Zustande vorhanden gewesen und an der Oberfläche der Erde erstarrt, so hätte sich nach allen Erfahrungen keine freie Kieselsäure neben oder vor dem Olivin ausscheiden können. Denn allem Anschein nach ist der Quarz der älteste Gemengtheil. Wollte man dagegen behaupten, daß in der Tiefe andere chemische Associationsgesetze für die Verbindungen herrschten, und demgemäß die Bildung des Quarzes vielleicht in die Tiefe, die der anderen Gemengtheile an die Oberfläche zu verlegen, so wäre das eine Behauptung, welche allen anderen Erfahrungen zuwider, diesem einen Falle zu Liebe konstruirt wäre. Wir sind ja, wie zugegeben werden muß, noch wenig über die Vorgänge in der Tiefe orientirt, besonders auch nicht über die Rolle, welche der Druck bei chemischen Reaktionen spielt. Doch kann der Druck entschieden nur in dem Sinne die Reaktionen beeinflussen, daß er Elemente, welche an der Oberfläche wenig Neigung zu chemischer Vereinigung zeigen, verbindet. Eine dissociirende Wirkung ist kaum denkbar.

Auch der Ausweg, die Quarzkrystalle aus durchbrochenen Gesteinen, Quarziten oder ähnlichen Felsarten herzuleiten, ist durch das Aussehen der fraglichen Krystalle unmöglich gemacht. Sie haben ganz das Ansehen ursprünglicher Gemengtheile, nicht dasjenige fremder Einschlüsse. Noch dazu finden sie sich in so gleichmäßiger Vertheilung innerhalb des Gesteins und in so gleichartiger Größe, daß dieser Erklärungsversuch entschieden als verfehlt angesehen werden muß.

Nehmen wir aber an, daß das Magma in der Tiefe fest

war, so schwinden damit alle Schwierigkeiten. Die chemischen Analysen der betreffenden Basalte zeigten (nach verschiedenen Fundorten verschieden) 52—57 % Kieselsäure. Nun giebt es Gesteine mit Quarz, Granit und Quarzdiorite mit 49—52 % Kieselsäure. In diesen hat das Vorkommen des Quarzes nichts Auffallendes. Demnach konnte das Basaltmagma in der Tiefe in ähnlicher Form, wie ein solches Gestein, ganz gut bestehen. Wenn nun durch Aufhebung des Drucks eine Verflüssigung des Gesteinsmagmas in der Weise eintrat, daß die leichter schmelzbaren Bestandtheile in flüssiger Form erschienen, der schwerer schmelzbare Quarz aber fest blieb, so mußte der flüssige Theil des Magmas, nach Abzug der als fester Quarz chemisch unwirksam gewordenen Kieselsäure, verhältnißmäßig basisch sein, konnte also auch basische Mineralien, wie den Olivin, zur Ausscheidung gelangen lassen.

Wollten wir das Magma des quarzführenden Basalts als Bestandtheil eines flüssigen Erdkerns ansehen, so würde das Gestein, obwohl thatsächlich existirend, vom chemischen Standpunkte eine Unmöglichkeit sein.

Blicken wir noch einmal zurück. Für die Beantwortung der Frage nach dem Aggregatzustande des Erdinnern waren die Erscheinungen der Präzession und Nutation zu Gunsten einer im wesentlichen *festen* Erde verwerthbar. Ebenso die Ebbe und Fluth. Wurde die Lösung der Frage versucht unter Zugrundelegung der Annahme, die Erde sei *einst* ganz flüssig gewesen, und betrachtet die Erstarrungsvorgänge, so ergab sich mit *Wahrscheinlichkeit* die Festigkeit des Erdinnern, indem wir fanden, daß der Druck wenigstens für die die Erdkruste bildenden Substanzen die Erstarrung begünstigt, *vielleicht* auch für die Bestandtheile des Erdinnern. Schließlich wurde gezeigt, daß die vulkanischen Eruptionen keineswegs nur möglich sind unter Annahme eines flüssigen Erdinnern, sondern sehr wohl mit der

Starrheit der Erde vereinbar sind. Ferner wurden einige Thatsachen der Gesteinslehre herangezogen, um nachzuweisen, daß wenigstens viele Laven in einem früheren Zustande fest gewesen sein müssen.

Wir haben uns auf einem dunklen Gebiet bewegt.. Die unmittelbare Beobachtung versagte zumeist. Wir mußten Erfahrungen, die im Laboratorium gemacht waren, auf Verhältnisse übertragen, die uns im großen und ganzen fremd sind. Wir wissen nichts über den Druck und die Temperatur in großen Tiefen. Oft mußten wir uns mit Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten begnügen.

Wollen wir uns demnach doch der Ansicht anschließen, die Erde sei starr, so können wir sagen, nach dem heutigen Standpunkt unserer Kenntnisse hat diese Ansicht die größere Wahrscheinlichkeit für sich. Andererseits zwingt keine entgegenstehende Beobachtung geradezu zur Annahme eines flüssigen Erdinnern. Wir dürfen aber nie vergessen, daß unsere Ansicht nichts weiter ist als eine Hypothese, eine Hypothese, die allerdings Berechtigung besitzt, die aber doch eines Tages durch überraschende Beobachtungen erschüttert werden kann.

Anmerkungen.

[1] Unter allen geologischen Hypothesen, z. B. bezüglich der Vulkane, Erdbeben, Gebirgsbildung ist denjenigen der Vorzug zu geben, welche überhaupt von der Frage, ob der Erdkern flüssig oder fest ist, unabhängig sind. Die bekannte Falbsche Erdbebentheorie gründet sich auf die Hypothese vom flüssigen Erdinnern. Falb nimmt den flüssigen Erdkern als gegeben an, und sucht seine Theorie besonders durch den statistischen Nachweis des Zusammentreffens von Erdbeben mit gewissen Konstellationen der Sonne und des Mondes zu stützen. Will Falb seine Theorie durchführen, so ist es in allererster Linie seine Sache, nachzuweisen oder auch nur wahrscheinlich zu machen, daß die Erde wirklich flüssig ist, dann mag auch zugegeben werden, daß Ebbe und Flutherscheinungen des Erdinnern Erdbeben erzeugen können, daß vulkanische Eruptionen und Erdbeben den

Auftrieb der flüssigen Masse in Spalten, beziehungsweise unterirdische Hohlräume ihre Entstehung verdanken können. In dem Werk „Die Umwälzungen im Weltall" (Wien 1890) wird nur an zwei Stellen ganz kurz gesagt, daß die Erde flüssig sei, weil mehrere Autoritäten sich zu Gunsten dieser Ansicht äußern, ohne zu erwähnen, daß immer eine größere oder geringere Gegnerschaft dagegen bestanden hat. Allein ein statistischer Nachweis des zeitlichen Zusammentreffens beweist noch keinen ursächlichen Zusammenhang. Den Versuchen, das Zusammentreffen von Erdbeben mit gewissen Konstellationen, unabhängig vom flüssigen Erdkern, zu erklären, ist aus dem Grunde der Vorzug zu geben, weil sie einfacher sind, als die Falbsche Hypothese und sich nicht auf andere Hypothesen stützen.

[2] Nach Lyell, Principles of Geology 1872, II. pag. 203.

[3] Die Zahlen sind theils den Originalabhandlungen, theils Neumayrs Erdgeschichte und Lapparents Traité de Géologie entnommen.

[4] Duncker, N. Jahrb. Wien, 1889 I.

[5] Besonders wichtig ist, daß das früher behauptete Anwachsen der geothermischen Tiefenstufen mit steigender Tiefe, welches man in Sperenberg und Grenelle beobachtet haben wollte, in Schladebach nicht beobachtet wurde. Aehnliche Ergebnisse haben, nach einer mündlichen Mittheilung von Herrn Dr. Gottsche in Hamburg, die in Lieth bei Elmshorn vorgenommenen Messungen gehabt.

[6] Die diesbezüglichen Litteraturangaben siehe in Reyer, Theoretische Geologie. Stuttgart, Koch, S. 206 ff.

[7] Philos. transactions. London, 1872, 1873.

[8] Philos. transactions. Edinburg 1849, XIV.

[9] Mohr, Geschichte der Erde. Bonn, 1866, S. 293 ff.

[10] Hopkins, Philos. transactions. London, 1839, 1840. 1842. — Reports Brit. Assoc. 1847, 1854, 1857, 1858.

[11] Henneffy, Philos. transactions. London 1851. Nature 1872 V. — Delaunay, Geolog. Magazine, 1868. — Wadsworth, American Naturalist 1884.

[12] W. Thomson, Trans. Roy. Soc. Edinburg 1864, XXIII. — Philos. Mag. 1863, XXV. — Philos. trans. London 1863. — Trans. Geol. Soc. Glasgow, 1878, VI. — Nature 1872 V. — Thomson und Taite Natural Philosophy 1867 I.

[13] Thomson, Rep. Brit. Assoc. 1876. XLVI.

[14] W. Thomson, Proc. Roy. Soc. London 1862, 1863. — Phil. Magazine 1863.

[15] Poisson und Ampère, Comptes Rendus 1868 LXVI.

[16] Geo. Darwin, Philos. trans. London 1880 CLXX, 1882 CLXXII.

[17] Bunsen, Pogg. Ann. 1850. — Phil. Mag. 1853.

[18] Forbes, Pop. Sci. Rev. 1869 VIII. — Geol. Mag. 1867 IV. — Chemical News 1868 VIII. — N. Jahrb. Min. 1841, 1843. — Geol. Mag. 1870 VII.

[19] Hallock, Amer. Journal of Science 1887. — Lagorio, Tschermaks min. petr. M. 1887 VIII.

[20] Mallet, Philos. Trans. 1872. — Proceed. Roy. Soc. London 1874 XII, 1875 XIII, Nature 1874 X.

[21] Centner, Miller, Whitney, Nature 1877 XV, 1878 XVIII. — Roberts, Proc. Roy. Soc. London 1875 XIII.

[22] Proc. Roy. Soc. Edinburg, 1879 X.

[23] Philos. Mag. 1881 XI.

[24] Sitzungsber. Akad. München 1881.

[25] Iddings, Obsidian Cliff. Yellowstone Park. Rep. U. S. Geol. Survey. Seventh ann. rep.

[26] Theoret. Geologie S. 200.

[27] Iddings, Amer. Journal 1888, XXXVI. — Diller, Amer. Journal 1887, XXXV.

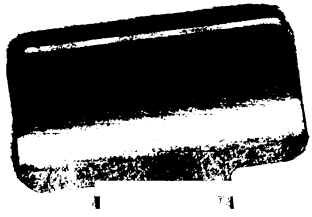
Die vorstehend angeführte Litteratur ist größtentheils direkt benutzt worden, theilweise sind Referate der Originalabhandlungen verwendet.

YB 27321

567.370

QE309
P4

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY



Verlagsanstalt und Druckerei A.-G. (vormals J. F. Richter) in Hamburg.

Soeben erscheint:

Forschungen und Erlebnisse im „Dunkelsten Afrika".

Geschichte der Nachhut der Emin-Pascha-Entsatz-Expedition

von

James S. Jameson

Naturforscher der Expedition.

Nach dessen Tode herausgegeben von **Frau J. S. Jameson.**

Mit einem Bildniß des Verfassers.
einer Karte und 98 Illustrationen nach Zeichnungen des Verfassers.

Autorisirte Uebersetzung von **E. Oppert.**

Gr. 8°. Preis geh. Mk. 10.—, in elegantem Original-Einband Mk. 12.—.

In diesem schön ausgestatteten Werke bieten wir dem deutschen Publikum ein Buch über Afrika, das in jeder Art auf das Vortheilhafteste von den meisten der über den dunklen Welttheil veröffentlichten Werke absticht. Sein Inhalt entrollt ein Bild der Expedition, wie es ergreifender kaum entworfen werden kann. Wahrhaft rührend sind die Schilderungen, die Jameson über die schreckliche Lage der Nachhut in seinen Tagebüchern hinterläßt — einfach, selbstvergessend, frei von aller prahlerischen Ueberhebung in der Beschreibung seiner eigenen rastlosen und aufopfernden Bemühungen für das Wohl der ihm anvertrauten Sache, tragen seine Aufzeichnungen den Stempel der Wahrheit in sich, der ihnen allein schon innern Werth verleiht. Bewundernswerth erscheint dabei, wie Jameson trotz aller Seelenqualen und eigener Krankheit nie den von ihm verfolgten Zweck aus den Augen läßt, wie er unermüdlich auf dem Gebiete der Zoologie seine Forschungen auszudehnen versucht; die von ihm entworfenen Schilderungen der wilden Stämme, ihrer Gebräuche und Sitten, sowie der Romantik und Schönheit der Gegenden, die sich ihm erschließen, liefern einen Beitrag zur Kenntniß des dunkeln Welttheils, wie er in den Werken aller seiner Vorgänger schmerzlich vermißt worden ist. Das Buch bildet mit dem kürzlich im gleichen Verlage erschienenen Werke **„Stanleys Nachhut in Yambuya"** unter Major E. M. Barttelot" eine **nothwendige Ergänzung von Stanleys „Im dunkelsten Afrika"**, da es einestheils die Lücken ausfüllt, welche Stanleys Werk für jeden **Freund der Länder- und Völkerkunde** offen läßt, andererseits rückhaltlos die Fehler aufdeckt, welche Stanleys Werk für jeden **Freund der Wahrheit und der ungefälschten Geschichtsschreibung in sich birgt.**

Druck der Verlagsanstalt und Druckerei Actien-Gesellschaft (vormals J. F. Richter) in Hamburg.